

## METHOD FOR FORMING FILM BY ATOMIC LAYER EPITAXIAL GROWING METHOD

## METHOD FOR FORMING FILM BY ATOMIC LAYER EPITAXIAL GROWING METHOD

Patent Number: JP2001220294  
Publication date: 2001-08-14  
Inventor(s): SANO YUKIHIRO;; KATAYAMA MASAYUKI  
Applicant(s): DENSO CORP  
Requested Patent: ☐ JP2001220294  
Application Number: JP20000032809 20000204  
Priority Number(s):  
IPC Classification: C30B29/20; B01J19/00  
EC Classification:  
EC Classification:  
Equivalents:

### Abstract

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To realize a layer structure in which aluminum oxide and titanium oxide are separated and do not mix each other, in a film forming method in which an insulating membrane is formed by alternately laminating the aluminum oxide and the titanium oxide by using an ALE method.

**SOLUTION:** This method for forming a film is provided by setting a base substrate temperature at which the aluminum oxide and the titanium oxide do not mix with each other based on the aimed film thickness of the aluminum oxide and the titanium oxide by utilizing a phenomenon in that when the film thickness of the titanium oxide becomes smaller, then the base substrate temperature so as not to mix the titanium oxide with the aluminum oxide, becomes higher and a conditional zone R1 for realizing such layer structure having the separated aluminum oxide and titanium oxide, moves to high temperature side, and forming the film at the above set base substrate temperature.

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-220294

(P2001-220294A)

(43) 公開日 平成13年8月14日 (2001.8.14)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード (参考)
C 3 0 B 29/20		C 3 0 B 29/20	4 G 0 7 5
B 0 1 J 19/00		B 0 1 J 19/00	M 4 G 0 7 7

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願2000-32809 (P2000-32809)

(22) 出願日 平成12年2月4日 (2000.2.4)

(71) 出願人 000004260

株式会社デンソー

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地

(72) 発明者 佐野 幸浩

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内

(72) 発明者 片山 雅之

愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会社デンソー内

(74) 代理人 100100022

弁理士 伊藤 洋二 (外2名)

Fターム (参考) 4G075 AA24 AA30 AA62 AA63 BC05

BD14 CA57 CA63 FC15

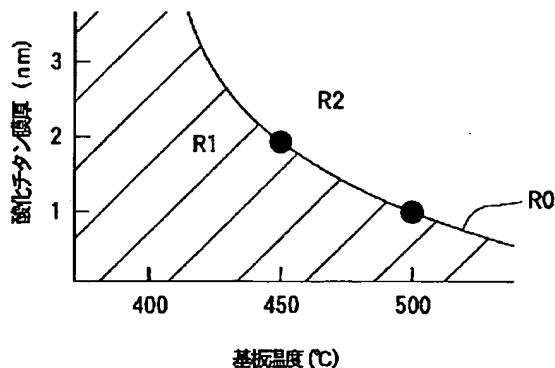
4G077 AA03 BB01 BB04 DB13 EA02

(54) 【発明の名称】 原子層エピタキシャル成長法による成膜方法

(57) 【要約】

【課題】 ALE法により酸化アルミニウムと酸化チタンとが交互積層された絶縁膜を成膜する成膜方法において、酸化アルミニウムと酸化チタンとが混合せずに分離した層構造を実現する。

【解決手段】 酸化チタンの膜厚が小さくなるに連れて、酸化アルミニウムと酸化チタンとが混合しないような基板温度が高くなり、酸化アルミニウムと酸化チタンとが分離した層構造を実現する条件領域R1が高温側へ移動する。この現象を利用して、狙いとする酸化アルミニウム及び酸化チタンの膜厚に基づいて、酸化アルミニウムと酸化チタンとが混合しないような基板温度を設定し、この設定された基板温度にて絶縁膜の成膜を行う。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 原子層エピタキシャル成長法により酸化アルミニウムと酸化チタンとが交互に積層された絶縁膜を成膜する成膜方法において、酸化アルミニウム及び酸化チタンの膜厚に基づいて、酸化アルミニウムと酸化チタンとが混合しないような成膜温度を設定し、この設定された成膜温度にて前記絶縁膜の成膜を行うことを特徴とする成膜方法。

【請求項2】 前記酸化アルミニウムの膜厚を5 nmとしたとき、前記成膜温度を400℃以下に設定することを特徴とする請求項1に記載の成膜方法。

【請求項3】 前記酸化アルミニウムの膜厚を5 nmとし、前記酸化チタンの膜厚を2 nm以上としたとき、前記成膜温度を450℃未満に設定することを特徴とする請求項1に記載の成膜方法。

【請求項4】 前記酸化アルミニウムの膜厚を5 nmとし、前記酸化チタンの膜厚を1.1 nm以上としたとき、前記成膜温度を500℃未満に設定することを特徴とする請求項1に記載の成膜方法。

【請求項5】 原子層エピタキシャル成長法により酸化アルミニウムと酸化チタンとが、それぞれ所定膜厚にて交互に積層された絶縁膜を成膜する成膜方法において、前記積層構造を平坦化するために前記酸化アルミニウムの所定膜厚よりも膜厚が厚い平坦化用の酸化アルミニウムを、前記積層構造の途中に少なくとも1層以上成膜することを特徴とする成膜方法。

【請求項6】 前記酸化アルミニウムの所定膜厚を5 nmとし、前記平坦化用の酸化アルミニウムの膜厚を20 nmとすることを特徴とする請求項5に記載の成膜方法。

【請求項7】 原子層エピタキシャル成長法により酸化アルミニウムと酸化チタンとが交互に積層された絶縁膜を成膜する成膜方法において、個々の前記酸化チタンの層を形成する際に、その形成途中において酸化チタンの成膜を一旦停止し、酸化アルミニウムを成膜した後、再び酸化チタンを成膜することにより、個々の前記酸化チタンの層を、酸化チタンで酸化アルミニウムを挟んだサンドイッチ構造とすることを特徴とする成膜方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、原子層エピタキシャル成長法（アトミック・レイヤー・エピタキシー法、以下、ALE法という）により酸化アルミニウムと酸化チタンとが交互に積層された絶縁膜を成膜する成膜方法に関し、例えば、ディスプレイ用絶縁膜、半導体の絶縁膜、各種材料の不動態コーティングに用いられる。

## 【0002】

【従来の技術】例えば、この種のALE法による成膜方法に関するものとしては、特告昭64-5440公報に

記載のものがある。これは、塩化アルミニウムと水とによる酸化アルミニウムの生成反応、及び、塩化チタンと水とによる酸化チタンの生成反応を、反応室内で交互に行わせることにより、絶縁体である酸化アルミニウムと誘電体である酸化チタンとが交互に積層された絶縁性に優れた絶縁膜（ATO膜）を形成するものである。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従来公報に基づいて本発明者等が絶縁膜を試作したところ、部分的に酸化アルミニウムと酸化チタンとがきちんと分離した層構造を形成せずに、酸化アルミと酸化チタンとが混合された構造となってしまうことがわかった。

【0004】本発明者等がTEM（透過型電子顕微鏡）観察等を行ったところ、酸化アルミニウムと酸化チタンとがきちんと分離した層構造となっている部分では、両材料がアモルファス状態であるのに対し、混合構造の部分では、結晶化している（酸化アルミニウムと酸化チタンとの混合結晶と思われる）ことが確認された。これは、酸化チタンの結晶を核にして各層を跨いで結晶化が進むことに起因していると考えられる。

【0005】酸化アルミニウムと酸化チタンが分離した層構造でなく、混合している構造では、結晶粒界を通して電流がリークする現象が起きやすい。また、抵抗体である酸化チタンが絶縁膜である酸化アルミニウムを突き抜けて電流のリークの原因となる場合もある。このリーク電流により絶縁膜の性能が低下したり、絶縁膜の耐久性が悪くなったりする問題点がある。そのために、両材料を混合させず、きちんと分離した層構造にする必要がある。

【0006】本発明は上記したような本発明者等が新規に見出した課題に基づいてなされたものであり、その目的とするところは、ALE法により酸化アルミニウムと酸化チタンとが交互積層された絶縁膜を成膜する成膜方法において、酸化アルミニウムと酸化チタンとが混合せずに分離した層構造を実現することにある。

## 【0007】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため鋭意検討した結果、酸化チタンの膜厚が大きくなるに連れて成膜温度を低くしないと酸化アルミニウムと酸化チタンとが混合しやすくなることを、実験的に見出した（図1参照）。請求項1～請求項4記載の発明は、この検討結果に基づいてなされたものである。

【0008】即ち、請求項1～請求項4の発明においては、酸化アルミニウム及び酸化チタンの膜厚に基づいて、酸化アルミニウムと酸化チタンとが混合しないような成膜温度を設定し、この設定された成膜温度にて絶縁膜の成膜を行うことを特徴としている。それによって、酸化アルミニウムと酸化チタンとが混合せずに分離した層構造を実現することができる。

【0009】ここで、酸化アルミニウムの膜厚を5 nm

とした場合を考えると、成膜温度を400℃以下に設定すれば、酸化チタンの膜厚の大きさに依らず分離した層構造を実現することができ、また、酸化チタンの膜厚を2nm以上としたとき、成膜温度を450℃未満に設定することが好ましく、酸化チタンの膜厚を1.1nm以上としたとき、成膜温度を500℃未満に設定することが好ましい(図1参照)。

【0010】さらに、検討を進めたところ、酸化アルミニウムと酸化チタンとの混合構造は、下地(基板)に近い部分では殆ど発生せず、積層構造の途中部から絶縁膜の表面側の部位に渡って発生しやすいことがわかった。さらに、層構造の乱れ度合は、混合構造の発生の起点である積層構造の途中部から、絶縁膜の表面側の部位に行くほど、ひどくなることがわかった。

【0011】このことから、積層構造の途中部においては、下地寄りの部位に比べて平坦性が劣るため、酸化チタンの結晶を核にした結晶化が起これ、この結晶化に伴い、層平面に凹凸が発生して層構造の平坦性が悪化し、この平坦性の悪化により、酸化チタンの結晶化がいつそう進んでいくと考えられる。そこで、積層構造中に、酸化チタンの結晶化による凹凸を平坦化する手段を形成してやれば良いのではないかと考え、実験検討を行った。

【0012】請求項5記載の発明は、この検討結果に基づいてなされたものであり、請求項5の発明によれば、積層構造を平坦化するために、交互に積層される酸化アルミニウムの所定膜厚よりも膜厚が厚い平坦化用の酸化アルミニウムを、積層構造の途中に少なくとも1層以上成膜することを特徴としている。

【0013】それによれば、厚い平坦化用の酸化アルミニウムを積層構造の途中に少なくとも1層以上成膜することによって、酸化チタンの結晶化に伴い発生した層平面の凹凸を吸収することができる。そのため、乱れかけた層構造は平坦化用の酸化アルミニウムによって平坦化されるから、各層を跨いで結晶化が進行していくのを抑制することができる。

【0014】よって、本発明によれば、酸化アルミニウムと酸化チタンとが混合せずに分離した層構造を実現することができる。ここで、酸化アルミニウムの所定膜厚を5nmとした場合、平坦化用の酸化アルミニウムの膜厚を20nmとすれば、請求項5の発明の効果を良好に発揮することができる。

【0015】また、請求項7記載の発明は、個々の酸化チタンの層に、結晶化の進行を防止する手段を形成することに着目してなされたものであり、個々の酸化チタンの層を形成する際に、その形成途中において酸化チタンの成膜を一旦停止し、酸化アルミニウムを成膜した後、再び酸化チタンを成膜することにより、個々の酸化チタンの層を、酸化チタンで酸化アルミニウムを挟んだサンドイッチ構造とすることを特徴としている。

【0016】本発明によれば、個々の酸化チタンの層

を、酸化チタンで酸化アルミニウムを挟んだサンドイッチ構造とすることができるため、個々の酸化チタンの層において、挟まれた酸化アルミニウムが障壁となり、酸化チタンの結晶化の進行を防止することができる。よって、本発明によれば、酸化アルミニウムと酸化チタンとが混合せずに分離した層構造を実現することができる。

【0017】

【発明の実施の形態】(第1実施形態)本実施形態はALE(原子層エピタキシャル成長)法による絶縁膜としてのATO膜を成膜する方法に係るものであり、本成膜方法は、通常のALE法に用いられる成膜装置により実現可能である。

【0018】この種の一般的な成膜装置は、図示しないが、成膜用の基板を収納する反応室、反応室近傍に設けられ輻射等により基板を加熱するヒータ、反応に用いる各ガスを反応室に供給する供給系及び反応室内のガスを排気する排気系を備えている。また、成膜用の基板としては、ディスプレイ用のガラス基板や半導体素子用のシリコン基板等を採用することができる。

【0019】そして、本実施形態では、塩化アルミニウム( $AlCl_3$ )と水( $H_2O$ )とによる酸化アルミニウム( $Al_2O_3$ )の生成反応、及び、塩化チタン( $TiCl_4$ )と水とによる酸化チタン( $TiO_2$ )の生成反応を、反応室内で交互に行わせることにより、絶縁体である $Al_2O_3$ と誘電体である $TiO_2$ とが交互に積層された絶縁性に優れた絶縁膜(ATO膜)を形成するものである。

【0020】成膜方法としては、まず、反応室内に設置された基板を、ヒータによって所望の反応が起こる以上の温度に加熱する。基板温度(成膜温度)が成膜可能な温度に達したら、塩化アルミニウムのガス( $AlCl_3$ ガス)をキャリアガスである窒素ガス( $N_2$ ガス)と共に、反応室へ導入し、基板近傍に流して基板に吸着させる。その後、基板に吸着した以外の余剰ガスを除去するため、 $N_2$ ガスのみ流し、 $N_2$ パージを行なう。

【0021】さらに、 $H_2O$ を $N_2$ ガスと共に反応室へ導入し、基板近傍に流して基板上で $AlCl_3$ と反応させて、目的とする薄膜である $Al_2O_3$ 層を形成する。その後、反応に供した以外の余剰ガスを除去するため、再び上記 $N_2$ パージを行なう。このように、 $Al_2O_3$ の1サイクルは、 $AlCl_3$ +パージ+ $H_2O$ +パージ、という2つの反応体パルスと2つのパージパルスとからなる。

【0022】このようなガスの1サイクルを繰り返すことにより、所望の膜厚を有する $Al_2O_3$ 層を形成することができる。 $TiO_2$ 層についても、 $TiCl_4$ +パージ+ $H_2O$ +パージからなる1サイクルを繰り返すことにより同様に形成することができる。そして、これら両層の成膜を交互に行うことにより、上記絶縁膜を形成することができる。

【0023】なお、各反応に用いる各成膜材料( $AlCl_3$

$\text{I}_3$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{TiCl}_4$ )は、各々、成膜装置に備えられた別々の容器(図示せず)に、固体もしくは液体状態で収納され、各容器内に昇華または蒸発により反応ガスが発生するように所望の温度(容器温度)となっている。そして、供給系のバルブを制御する等により、各容器内のガスを所定流量の $\text{N}_2$ ガスとともに反応室へ供給したり、 $\text{N}_2$ ガスのみ流すようにしている。

【0024】かかるALE法による成膜方法において、鋭意検討した結果、層構造が保たれるか乱れるかは、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 及び $\text{TiO}_2$ の膜厚と成膜温度が支配的な要因であることがわかった。総膜厚250nmの $\text{Al}_2\text{O}_3$ と $\text{TiO}_2$ からなる絶縁膜を成膜する場合において、各々の材料が混合されずに層構造となる成膜条件について検討した例を示す。

【0025】ここで、例えば、プロセス圧力(反応室内の圧力)は例えば約200Pa、キャリアガスである $\text{N}_2$ ガスの流量は3リットル/分とし、 $\text{AlCl}_3$ ガスの容器温度を151℃、 $\text{H}_2\text{O}$ ガスの容器温度を42℃、 $\text{TiCl}_4$ ガスの容器温度を30℃とした。また、基板としては、通常のガラス基板を用いた。

【0026】また、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ の1サイクルは上述のように、 $\text{AlCl}_3$ +パージ+ $\text{H}_2\text{O}$ +パージであるが、各パルスの時間は例えば、順に0.5秒+1.0秒+0.8秒+2.0秒とした。一方、 $\text{TiO}_2$ の1サイクルは上述のように、 $\text{TiCl}_4$ +パージ+ $\text{H}_2\text{O}$ +パージであるが、各パルスの時間は例えば、順に0.4秒+1.0秒+0.6秒+2.0秒とした。

【0027】このような成膜条件において、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ の単層の膜厚を5nmとし、基板温度(本発明でいう成膜温度)と $\text{TiO}_2$ の単層の膜厚を種々変えて検討した。ちなみに、上記成膜条件にて、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ の1サイクルを111回繰り返すことにより、膜厚が5nmの $\text{Al}_2\text{O}_3$ の単層が成膜できる。また、 $\text{TiO}_2$ の1サイクルを51回繰り返すことにより、膜厚が1.1nmの $\text{TiO}_2$ の単層が成膜できる。 $\text{TiO}_2$ の膜厚変更は、このサイクル回数を基準として適宜変更することで行うことができる。

【0028】図1に、基板温度(℃)と $\text{TiO}_2$ の単層の膜厚(酸化チタン膜厚、単位: nm)との関係をグラフとして示す。ここで、基板温度は、基板近傍に設置した熱電対等により求め、層構造の状態は、成膜された総膜厚250nmの $\text{Al}_2\text{O}_3$ と $\text{TiO}_2$ からなる絶縁膜の積層方向断面をTEM観察することにより求めた。

【0029】図1中のグラフ曲線R0よりも下側の領域(斜線ハッチング部)R1は、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ と $\text{TiO}_2$ がきちんと分離した層構造を形成する条件領域であり、該グラフ曲線R0以上の領域R2は、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ と $\text{TiO}_2$ が混合された構造が出現する条件領域である。図1から、酸化チタン膜厚が薄いほど、条件領域R1が高温側へ移動し、基板温度(成膜温度)を高くしても、各材料がき

ちんと分離した層構造が形成されることがわかる。

【0030】また、ALE法により $\text{Al}_2\text{O}_3$ と $\text{TiO}_2$ からなる絶縁膜を形成する場合、基板温度(成膜温度)はできる限り高い方が好ましい。これは、温度が高くなるほど、成膜された層(薄膜)内に残存する塩素(Cl)等の不純物が除去しやすくなるためである。これから、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ と $\text{TiO}_2$ がきちんと分離した層構造を形成するための成膜条件として、次のことが言える。

【0031】 $\text{Al}_2\text{O}_3$ の単層の膜厚が5nmとなる条件で積層した場合、まず、基板温度が400℃以下では、酸化チタン膜厚に依らず、各層が分離された層構造となる。また、酸化チタン膜厚が2nm以上では基板温度を450℃未満に、酸化チタン膜厚が1.1nm以上では基板温度を500℃未満に設定することが好ましい。

【0032】ちなみに、基板温度が450℃の時、酸化チタン膜厚を2nmよりも薄くすると分離した層構造になり、2nm以上とすると各層が混合された膜になる。また、基板温度が500℃の時、酸化チタン膜厚を1.5nmよりも薄くすると分離した層構造になり、1.5nm以上とすると各層が混合された膜になる。

【0033】以上のように、本実施形態は、酸化チタンの膜厚が小さくなるに連れて、酸化アルミニウムと酸化チタンとが混合しないような基板温度(成膜温度)が高くなるという、本発明者等が独自に見出した現象を利用するものであり、狙いとする酸化アルミニウムと酸化チタンの膜厚に基づいて基板温度(成膜温度)を設定することを特徴としたものである。そして、本成膜方法によれば、酸化アルミニウムと酸化チタンとが混合せずに分離した層構造を実現することができる。

【0034】(第2実施形態)本第2実施形態は、原子層エピタキシャル成長法により酸化アルミニウムと酸化チタンとが、それぞれ所定膜厚にて交互に積層された絶縁膜(ATO膜)を成膜する成膜方法において、積層構造を平坦化するために酸化アルミニウムの所定膜厚よりも膜厚が厚い平坦化用の酸化アルミニウムを、積層構造の途中に少なくとも1層以上成膜することの特徴とするものである。以下、主として、上記第1実施形態と異なるところについて述べる。

【0035】本実施形態に係る絶縁膜の断面構造を図2(a)に模式的に示す。なお、図2(b)は、比較例としての従来の絶縁膜の模式的断面構造を示す図である。図2中、1は酸化アルミニウム層( $\text{Al}_2\text{O}_3$ 層)、2は酸化チタン層( $\text{TiO}_2$ 層)、3は平坦化用の酸化アルミニウム層(以下、平坦化層という)である。

【0036】所定膜厚にて積層される $\text{Al}_2\text{O}_3$ 層1よりも厚い平坦化層3を積層構造の途中に少なくとも1層以上成膜することによって、 $\text{TiO}_2$ 層2の結晶化に伴い発生した層平面の凹凸を吸収することができる。そのため、乱れかけた層構造は平坦化層3によって平坦化されるから、各層を跨いで結晶化が進行していくのを抑制す

ることができる。

【0037】図2に示す積層構造において、総膜厚250nmの $Al_2O_3$ 層1と $TiO_2$ 層2からなる絶縁膜を成膜する際に、各々の材料が混合されずに層構造となる成膜条件の例を示す。 $Al_2O_3$ 層1、 $TiO_2$ 層2の単層の膜厚は、それぞれ5nm、平坦化層3の膜厚は20nmとした。各層1～3は、上記第1実施形態にて述べた成膜条件の例に基づいて、サイクル回数を適宜変更することで所望の膜厚にて成膜することができ、特に、平坦化層3は、 $Al_2O_3$ 層1のサイクル回数を多く（本例では4倍程度）することで形成できる。

【0038】このように、各層1、2の単層の膜厚がそれぞれ5nmとなる条件で積層した場合、TEM観察によれば、最初の数層は各材料が分離された層構造となるが、積層するに連れて各材料の層構造が乱れてしまう。これは、「解決手段」の欄にて述べたように、 $TiO_2$ の結晶化が $Al_2O_3$ の層に影響を及ぼすと考えられるからである。

【0039】しかしながら、図2(a)に示す本実施形態の絶縁膜では、積層構造の途中に平坦化層3を20nm程度積層することで、平坦化層3の上面は平坦面となるため、層構造が乱れてしまう前に層構造が大きく乱れることを防止できる。よって、本実施形態によれば、平坦化層3によって、 $Al_2O_3$ と $TiO_2$ との各材料が混合せずに分離した層構造を実現することができる。

【0040】また、本実施形態の平坦化層3は、ATO膜の構成材料である $Al_2O_3$ により形成するものであるため、通常のALE成膜装置を用いて成膜を行うことが可能である。ただし、当然ではあるが、平坦化層3の厚さは、絶縁膜の性能を維持できる程度の厚さにとどめることは勿論である。なお、平坦化層3は積層構造の途中部の2箇所以上に介在させてもよい。

【0041】（第3実施形態）本第3実施形態に係る絶縁膜の断面構造を図3に模式的に示し、主として、上記第1実施形態と異なるところについて述べる。本実施形態は、個々の $TiO_2$ 層2に、結晶化の進行を防止する手段を形成することに着目してなされたものであり、個々の $TiO_2$ 層2を、第1の $TiO_2$ 層2a及び第2の $TiO_2$ 層2bで $Al_2O_3$ 障壁層2cを挟んだサンドイッチ状の3層構造とすることを特徴とするものである。

【0042】個々の $TiO_2$ 層2において、両 $TiO_2$ 層2a、2bで挟まれた $Al_2O_3$ 障壁層2cは、 $TiO_2$ の結晶化進行防止手段となるものである。この $Al_2O_3$

障壁層2cの膜厚は、所定膜厚にて積層される $Al_2O_3$ 層1よりも薄いものとなっている。例えば、単層の膜厚がそれぞれ5nmである $Al_2O_3$ 層1と $TiO_2$ 層2からなる総膜厚250nmの絶縁膜を成膜する場合、 $TiO_2$ 層2の単層は、膜厚が1nm程度の $Al_2O_3$ 障壁層2cを、各々膜厚が2nmである両 $TiO_2$ 層2a、2bにて挟んだ3層構造とすることができる。

【0043】本実施形態の絶縁膜の成膜にあたっては、個々の $TiO_2$ 層2を形成する際に、その形成途中において $TiO_2$ の成膜を一旦停止し、 $Al_2O_3$ を成膜した後、再び $TiO_2$ を成膜することにより、個々の $TiO_2$ 層2を上記サンドイッチ構造とすることができる。このとき、上記第1実施形態にて述べた成膜条件の例に基づいて、サイクル回数を適宜変更することで所望の膜厚にて成膜することができる。

【0044】そして、本実施形態によれば、個々の $TiO_2$ 層2において挟まれた $Al_2O_3$ 障壁層2cが障壁となり、 $TiO_2$ の結晶化の進行を防止することができるため、 $Al_2O_3$ と $TiO_2$ とが混合せずに分離した層構造を実現することができる。なお、当然ではあるが、 $Al_2O_3$ 障壁層2cの厚さは、結晶化進行防止手段として機能する厚さがあれば良く、絶縁膜の性能を維持できる程度の厚さにとどめることは勿論である。

【0045】以上の各実施形態によれば、酸化アルミニウムと酸化チタンとが混合せずに分離した層構造を実現できるため、リーク電流が発生しにくく、絶縁性に優れ、しかも、耐久性に優れた絶縁膜（ATO膜）を提供することができる。そして、本実施形態は、このような優れた絶縁膜を有するEL（エレクトロルミネッセンス）や液晶ディスプレイ、あるいは、半導体装置を実現するのに有効である。

【図面の簡単な説明】

【図1】基板温度と酸化チタン膜厚との関係を示すグラフである。

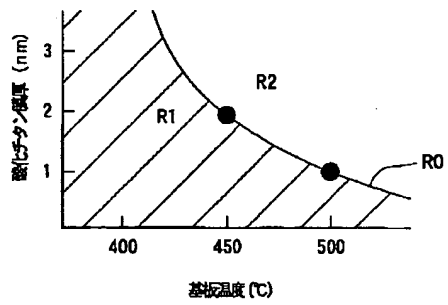
【図2】(a)は本発明の第2実施形態に係る絶縁膜の模式的断面図、(b)は従来の絶縁膜の模式的断面図である。

【図3】本発明の第3実施形態に係る絶縁膜の模式的断面図である。

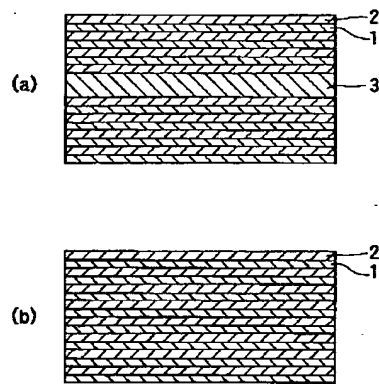
【符号の説明】

1、2c…酸化アルミニウム層、2…酸化チタン層、2a…第1の酸化チタン層、2b…第2の酸化チタン層、2c…酸化アルミニウム障壁層、3…平坦化層。

【図1】



【図2】



【図3】

